

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-164294

(43)Date of publication of application : 10.06.1994

(51)Int.Cl.

H03H 9/145

H03H 9/25

(21)Application number : 05-222475

(22)Date of filing : 07.09.1993

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(72)Inventor :  
NAKAHATA HIDEAKI  
YAGOU AKIHIRO  
HIGAKI KENJIRO  
SHIKADA SHINICHI

(30)Priority

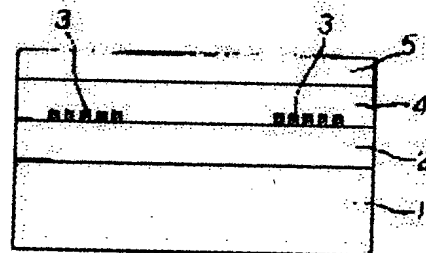
Priority number : 04244906 Priority date : 14.09.1992 Priority country : JP

## (54) SURFACE ACOUSTIC WAVE ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable an element to be used in a high frequency area and to maintain environment resistance characteristic by providing with a hard layer composed of diamond, a piezoelectric layer, a silicon dioxide layer, and an electrode group embedded between the hard layer and the piezoelectric layer, etc.

CONSTITUTION: Diamond thin film 2 is formed on an Si substrate 1, and a comb-shape electrode 3 is formed on the diamond thin film 2, and furthermore, ZnO thin film 4 being a piezoelectric layer is formed on it, and silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) film 5 is formed on the ZnO thin film 4. As a result that the piezoelectric layer is sandwiched between the hard layer composed of at least either of diamond and diamond shape carbon film and the SiO layer, an element core part consisting of the piezoelectric layer and the electrode 3 can be protected, and also, high electric-mechanical joining can be obtained. Also, it is possible to grow the SiO<sub>2</sub> layer, for example, by a sputtering method, an ion plating method, a CVD method, an electron beam vapor-deposition method, or a low temperature CVD method, and it is desirable to use an amorphous material as the layer.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.08.1999  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3205976  
[Date of registration] 06.07.2001  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-164294

(43)公開日 平成 6 年(1994) 6 月10日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 3 H 9/145  
9/25

識別記号

庁内整理番号

C 7259-5 J

C 7259-5 J

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平5-222475

(22)出願日 平成 5 年(1993) 9 月 7 日

(31)優先権主張番号 特願平4-244906

(32)優先日 平 4 (1992) 9 月14日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番33号

(72)発明者 中幡 英章

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 八郷 昭広

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 桧垣 賢次郎

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外 3 名)

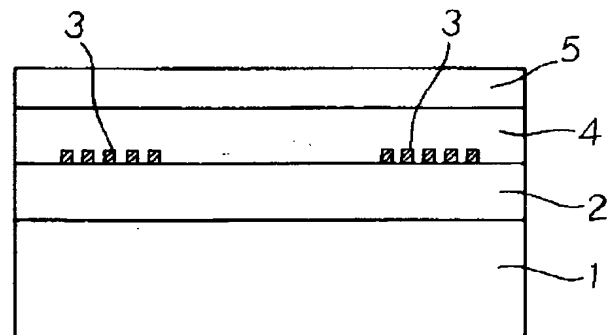
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 表面弾性波素子

(57)【要約】

【目的】 高周波特性が良く且つ、耐環境性に優れた表面弾性波素子を提供する。

【構成】 本発明の表面弾性波素子は、実質的に、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかを組成要素とする硬質層と、この硬質層上に形成される圧電体層と、この圧電体層上に形成される二酸化珪素 (S i O<sub>2</sub>) 層と、この圧電体層と組合わされて電気-機械変換を行うための電極とを備える構造を有している。このような構造を有する本発明の表面弾性波素子は、二酸化珪素層が形成されていない従来の表面弾性波素子と比較して、電気機械結合係数が大きくなると共に、表面弾性波の伝搬速度が速くなるので、高周波数領域で動作する表面弾性波素子を実現される。特に、電気機械結合係数が大きくなる。又、二酸化珪素 (S i O<sub>2</sub>) 層は、電氣的に絶縁体であり、水分や酸に反応し難いので、圧電体層及び電極を外部環境から保護する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ダイヤモンドを組成とする硬質層と、前記層の上に形成される圧電体層と、前記圧電体層の上に形成される二酸化珪素層と、前記硬質層と前記圧電体層との間、又は前記圧電体層と前記二酸化珪素層との間に埋設される電極群と、を具備することを特徴とする表面弾性波素子。

【請求項2】 前記硬質層は、実質的にダイヤモンドから成ることを特徴とする請求項1に記載の表面弾性波素子。

【請求項3】 前記硬質層は、実質的にダイヤモンド状炭素膜から成ることを特徴とする請求項1に記載の表面弾性波素子。

【請求項4】 前記硬質層は、実質的にダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜から成ることを特徴とする請求項1に記載の表面弾性波素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、数百MHzからGHzの高周波領域で動作する表面弾性波素子に関するものであり、特に、ダイヤモンドまたはダイヤモンド状炭素膜と圧電体とを組み合わせた表面弾性波素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】表面弾性波素子は、弾性体表面を伝搬する表面波を利用した電気-機械変換素子であり、たとえば、図14に示すような基本構造を有する。同図中、表面弾性波素子40において、表面弾性波の励振には圧電体44による圧電現象が利用される。圧電体44に設けられた一方のくし形電極43に電気信号を印加すると、圧電体44に歪みが生じ、これが表面弾性波となって圧電体44を伝搬し、もう1つのくし形電極43'で電気信号が取出される。この素子の周波特性は、図に示すように、くし形電極における電極間隔を $\lambda_0$ 、表面弾性波の伝搬速度を $v$ とすれば、 $f_0 = v / \lambda_0$ で定められる周波数 $f_0$ を中心とした帯域通過特性を有する。

【0003】表面弾性波素子は、部品点数が少なく、小型にすることができ、しかも表面弾性波の伝搬経路上において信号の出入れが容易である。この素子は、フィルタ、遅延線、発振器、共振器、コンボルバーおよび相関器等に応用することができる。特に、表面弾性波素子は、テレビの中間周波数フィルタとして実用化され、さらにVTRならびに、自動車電話および携帯電話等各種の通信機器用のフィルタにも応用が検討されてきている。

【0004】従来の典型的な表面弾性波素子として、 $\text{LiNbO}_3$  および  $\text{LiTaO}_3$  等の圧電体結晶上に、くし形電極を形成した構造からなる素子がある。また、 $\text{ZnO}$ 等の圧電体薄膜をガラス等の基板上にスパッタ等の技術を用いて形成したものも用いられている。

【0005】しかしながら、上述した従来の素子構造を用いて、高周波域（GHz帯）で動作する素子を製造することは困難である。圧電体単結晶上にくし形電極を形成しただけの素子では、表面弾性波の伝搬速度 $v$ が小さいため、1GHz以上の高い中心周波数を得ることは困難である。

【0006】上述した式からも示唆されるように、表面弾性波素子がより高い周波数を中心とする帯域通過特性を有するためには、電極間隔 $\lambda_0$ を小さくするか、表面弾性波の伝搬速度 $v$ を大きくする必要がある。

【0007】くし形電極の電極間隔 $\lambda_0$ を小さくして中心周波数を高くすることは、フォトリソグラフィ等の微細加工技術により制限を受ける。

【0008】そのため、表面弾性波の伝搬速度 $v$ を増加させる技術がこれまで検討されてきた。

【0009】特開昭54-38874号公報は、表面弾性波の伝搬速度が圧電体中の伝搬速度よりも大きなサファイア層を基板と圧電体膜との間に設けた素子を開示している。また、特開昭64-62911号公報および特開平3-19842号公報では、表面弾性波の伝搬速度を大きくするため、ダイヤモンド層上に圧電体膜を積層させた素子を開示している。図21(a)～(d)は、これらの公報に開示された素子の例を示している。

【0010】図21(a)に示す素子では、ダイヤモンド層52上に圧電体層54が形成され、これらの層の間にくし形電極53が設けられている。図21(b)に示す素子では、図21(a)に示す素子の圧電体層54に短絡用電極56が設けられたものである。図21(c)に示す素子では、ダイヤモンド層52上に圧電体層54が形成され、圧電体層54上にくし形電極53が設けられている。図21(d)に示す素子では、図21(c)に示す素子において圧電体層54とダイヤモンド層52との間に短絡電極56が設けられたものである。

【0011】特開平3-198412号公報では、図21(a)～(d)に示す素子について、より高い表面弾性波の伝搬速度およびより高い電気機械結合係数を得るため、ダイヤモンド層の厚み、 $\text{ZnO}$ からなる圧電体層の厚みおよび励振モードが検討されている。

【0012】さらに、特開平1-103310号公報では、伝搬速度を大きくするため、ダイヤモンド状炭素膜の上に圧電体を体積させた表面弾性波素子が開示されている。この公報に開示された素子は、図21(a)～(d)に示す素子において、ダイヤモンド層52の代わりにダイヤモンド状炭素膜を用いている。

## 【0013】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、移動体通信等の分野においてフィルタとして用いられる表面弾性波素子は、周波数の割当てに応じて1.5～3GHzのより高い周波数で使用できることが望まれている。

このようなフィルタを実現化するためには、高い効率で

電気機械的変換を行なうことができ、かつより速い表面弾性波の伝搬速度 $v$ を有する素子構造が要求される。

【0014】また、表面弾性波素子は、特に携帯電話などの高周波フィルタとして検討されている。周知のとおり、携帯電話は、様々な環境で用いられるため、この電話に組込まれた素子は、湿気および不純物等の影響を受けるおそれがある。したがって、携帯電話に用いられる表面弾性波素子は、使用環境中で常に安定した特性を保持することが要求される。

【0015】本発明は、この様な、技術的課題に鑑みにより高周波領域において使用することができ、かつ外部環境に対して安定した性能(耐環境性)を保持することができる表面弾性波素子を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明に従う表面弾性波素子は、ダイヤモンドを組成とする硬質層と、この層の上に形成される圧電体層と、この圧電体層の上に形成される二酸化珪素層と、硬質層と圧電体層との間、又は圧電体層と二酸化珪素層との間に埋設される電極群とを具備することとした。

【0017】本発明において、圧電体層が、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかを組成要素とする硬質層と二酸化珪素( $\text{SiO}_2$ )層との間に挟まれる結果、圧電体層および電極からなる素子中枢部が保護され、かつ高い電気機械的結合がもたらされる。

【0018】本発明において、二酸化珪素( $\text{SiO}_2$ )層は、たとえば、スパッタリング法、イオンプレーティング法、CVD法、電子ビーム蒸着法、低温CVD法により成長させることができる。二酸化珪素( $\text{SiO}_2$ )は、非晶質のものがよい。

【0019】本発明において、ダイヤモンド状炭素膜は、i-カーボンと呼ばれる。ダイヤモンド状炭素膜は、ダイヤモンドの気相合成に関する研究の過程で見出されたものであり、多くの研究者によりその材質が詳しく調べられ、明らかにされてきた。ダイヤモンド状炭素膜を1つの物質として定義することについての定説はないが、この膜は、ダイヤモンド、クラファイト、アモルファスカーボンなどとは顕著に異なるものであって、次に示すような性質を有している。

【0020】(1) 炭素と水素からなる組成物で、水素のほうが少ない。

【0021】(2) 結晶状態はアモルファスである。

【0022】(3) 少なくとも一般の金属に比べてはるかに硬い。

【0023】(4) 電気的には絶縁体である。

【0024】(5) 光を透過する。

【0025】また、ダイヤモンドは $\sim 10,000$  (Hv)の硬度を有する一方、ダイヤモンド状炭素膜は、たとえば、 $1,000 \sim 5,000$  (Hv)の硬度を有す

る。

【0026】ダイヤモンド状炭素膜は、ダイヤモンドの合成と同様にプラズマCVD、イオンビーム蒸着法およびスパッタリング等の気相プロセスに従って製造される。

【0027】本発明において、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかからなる層が少量の不純物を含んでいてもよい。弾性表面波の伝搬速度および電気機械的変換の効率を高める点からいえば、ダイヤモンドからなる硬質層を用いることが好ましい。すなわち、硬質層は、実質的ダイヤモンドを必須要素とするものであることを要する。

【0028】一方、ダイヤモンドは $500^\circ\text{C}$ 以上の合成温度が必要であるのに対し、ダイヤモンド状炭素膜は室温でも気相合成され、このため、ダイヤモンド状炭素膜は、膜がその上に形成されるべき基材の選択の幅を大きく広げる。また、ダイヤモンド状炭素膜について、大面積の膜を容易に得ることができ、ダイヤモンドに比べてより平滑な表面を有する。

【0029】本発明において、実質的に、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかを組成要素とする硬質層は、天然あるいは超高压合成による単結晶ダイヤモンドでもよく、基板上に形成されたダイヤモンド薄膜からなる硬質層であってもよい。また、ダイヤモンド状炭素膜からなる硬質層であってもよい。

【0030】ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる硬質層の厚みは、表面弾性波の伝搬速度を大きくするために、以下の実施例に示すように、 $2\pi H d / \lambda > 3$ の厚み、さらに望ましくは $2\pi H d / \lambda > 4$ の厚みであることが好ましい。ダイヤモンド薄膜を形成するための基板は、特に限定されないが、たとえば、Si、Mo、W、GaAs、および $\text{LiNbO}_3$ 等の半導体材料および無機材料から構成してもよい。

【0031】また一方、ダイヤモンド状炭素膜を形成するための基板は、ダイヤモンドよりも広い範囲の基板を適用することができる。このような基板としては、たとえば、合成樹脂等の有機化合物からなる基板を含む。

【0032】基板上に形成されるダイヤモンド薄膜は、単結晶ダイヤモンドであってもよいし、多結晶ダイヤモンドであってもよい。気相合成によるダイヤモンド薄膜は、通常多結晶構造を有する。

【0033】ダイヤモンド薄膜を基板上に形成させる方法として、たとえば、熱CVD法、プラズマCVD法、マイクロ波CVD法、光CVD法およびレーザCVD法等のCVD法、スパッタリング、ならびにイオンビーム蒸着等を挙げることができる。また、ダイヤモンド状炭素膜も、ダイヤモンド薄膜を形成したものと同様の方法を用いて基板上に形成させてもよい。

【0034】原料ガスを分解励起してダイヤモンド薄膜

を気相成長させる方法についてより具体的に列挙すると、たとえば、(1) 熱電子放射材を1500K以上の温度に加熱して原料ガスを活性化する方法、(2) 直流波、交流波またはマイクロ波電界による放電を利用する方法、(3) イオン衝撃を利用する方法、(4) レーザなどの光を照射する方法、(5) 原料ガスを燃焼させる方法等がある。

【0035】ダイヤモンド薄膜およびダイヤモンド炭素膜を気相合成するために使用する原料物質には、炭素含有化合物が一般的に用いられる。この炭素含有化合物は、好ましくは水素ガスと組合せて用いられる。また、必要に応じて、酸素含有化合物および/または不活性ガス中に添加される。

【0036】炭素含有化合物としては、たとえば、メタン、エタン、プロパンおよびブタン等のパラフィン系炭化水素、エチレン、プロピレンおよびブチレン等のオレフィン系炭化水素、アセチレンおよびアリレン等のアセチレン系炭化水素、ブタジエン等のジオレフィン系炭化水素、シクロプロパン、チクロブタン、チクロペンタンおよびシクロヘキサン等の脂環式炭化水素、シクロブタジエン、ベンゼン、トルエン、キシレンおよびナフタレン等の芳香族炭化水素、アセトン、ジエチルケトンおよびベンゾフェノン等のケトン類、メタノールおよびエタノール等のアルコール類、トリメチルアミンおよびトリエチルアミン等のアミン類、炭酸ガスならびに一酸化炭素などを挙げることができる。これらは、1種を単独で用いることもできるし、2種類以上を併用することもできる。また、炭素含有化合物は、グラファイト、石炭、コークス等の炭素原子のみからなる物質であってもよい。

【0037】原料ガスに添加される酸素含有化合物としては、酸素、水、一酸化炭素、二酸化炭素、または過酸化水素が容易に入手できるゆえ好ましい。

【0038】原料ガスに添加できる不活性ガスとしては、たとえば、アルゴン、ヘリウム、ネオン、クリプトン、キセノン、またはラドンを用いてもよい。

【0039】また、実質的にダイヤモンドおよびダイヤモンド炭素膜の少なくともいずれかを組成要素とする硬質層は、単結晶ダイヤモンドから本質的になる基板で構成されてもよい。単結晶ダイヤモンドの基板は、表面弾性波の伝搬速度および電気機械結合係数を高めるため好ましく用いられる。このような基板として、天然ダイヤモンドまたは超高圧合成法により製造された合成ダイヤモンドを用いてもよい。

【0040】本発明において、圧電体層は、ZnO、AlN、PB(Zr, Ti)O<sub>3</sub>、(Pb, La)(Zr, Ti)O<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、LiNbO<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、BeO、Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>、KNbO<sub>3</sub>、ZnS、ZnSeまたはCdS等の圧電材料から本質的になることができる。

【0041】圧電体層は、単結晶および多結晶のいずれであってもよいが、素子をより高周波域で使用できるようにするためには、弾性表面波の散乱が少ない単結晶であるほうがより好ましい。ZnO、AlN、およびPb(ZrTi)O<sub>3</sub>等から本質的になる圧電体層は、CV法またはスパッタ等によって形成してもよい。

【0042】本発明において、前述した電気機械的変換、すなわち電気信号と表面弾性波との間での変換を行なうための電極は、典型的には、くし形電極またはインターデジタル・トランデューサ(IDT)と呼ばれる電極が用いられる。

【0043】くし形電極は、現在のところフォトリソグラフィ法を用いて1、2μm程度の電極間隔を有するものまでを製造することができる。電極を形成する材料としては、抵抗率の小さな金属が好ましく、Au、AgおよびAl等の低温で蒸着可能な金属、ならびにTi、WおよびMo等の高融点金属を用いることができる。電極形成の容易さからは、AlおよびTiを用いることが好ましく、ダイヤモンドとの密着性からはWおよびMoを用いることが好ましい。くし形電極は、単一の金属材料から形成されてもよく、またTiの上にAlを堆積するように2種類以上の金属材料を組合せて形成されてもよい。

【0044】ここで、くし形電極の作製順序を簡単に説明する。まず、上述した材料からなる金属層を所定の場所に形成する。次に、レジスト膜を金属層上に形成した後、ガラス等の透明平板上にくし形電極のパターンを形成させたマスクをレジスト膜の情報に設け、水銀ランプなどを用いてレジスト膜を感光する。その後、現像によりレジストパターンが得られる。レジストパターンの形成には、上述した方法の他に、電子ビームによりレジスト膜を直接感光する方法を用いてもよい。

【0045】レジストパターン形成後、エッチングにより金属層が所定の形状に加工される。Al等の低融点金属からなる層をエッチングするには、たとえば、水酸化ナトリウム溶液などのアルカリ性溶液または硝酸などの酸性溶液が用いられる。一方、高融点金属をエッチングする場合にはフッ素酸と硝酸の混合溶液が用いられる。また、BCl<sub>3</sub>等のガスを用いる反応性イオンエッチングを金属層の加工のために用いてもよい。

【0046】一方、本発明において、電極は、また導電性を有するダイヤモンドから形成することもできる。導電性を有するダイヤモンドは、P、Al、PまたはSなどの不純物を導入しながらダイヤモンドを気相成長させる方法、絶縁体のダイヤモンドにこれらの不純物をイオン注入によりドーピングする方法、絶縁性のダイヤモンドに電子線を照射して格子欠陥を導入する方法、または絶縁性のダイヤモンドを水素化する方法等により形成してもよい。

【0047】本発明において、くし形電極は、ダイヤモ

ンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる層と圧電体層の間、または圧電体層と二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層との間に形成することができる。加えて、くし形電極は、短絡用電極とともに形成してもよい。

【0048】くし形電極がダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる層と圧電体層との間に設けられる場合、短絡用電極は、圧電体層と二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層との間および／または二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層上に設けるようにしてもよい。

【0049】また、くし形電極が圧電体層と二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層との間に設けられる場合、短絡用電極はダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる層と圧電体層との間および／または二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層の上に設けることができる。

【0050】くし形電極は、例えば図22(a)、図22(b)に示すような形状を有するものが用いられる。

【0051】圧電体層を基板上に形成した表面弾性波素子において、基板材料の音速が圧電体材料の音速よりも大きいときには、伝搬速度の異なる複数の表面弾性波が励起される。この場合、励振モードとして、伝搬速度の小さいほうから0次モード、1次モード、2次モード、3次モード、…というように規定される。

【0052】本発明に係る表面弾性波素子は、たとえば1次モードを利用する素子として適用できる。本発明に従えば、1次モードにおいて伝搬速度が約8000m/s以上であり、電気機械結合係数が3%以上である表面弾性波素子を提供することができる。ここで、電気機械結合係数は、電気的エネルギーが機械的エネルギーに変換される際の変換効率を示す指標とする。

【0053】これまでに、本発明に係る表面弾性波素子と類似のものとして、 $\text{LiTaO}_3$ からなる層上に二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層を堆積させた構造を有する表面弾性波素子において、 $\text{SiO}_2$  層の厚さが  $2\pi H_s / \lambda = 1.3$  付近で、電気機械結合係数を5.2%と大きくできることが見出されている。(Jpn. J. Appl. Phys. Suppl. No. 29-1 PP. 157-158. 1990. SATOH K., FUJIWARA Y., HASHI MOTO K.) 本発明に係る表面弾性波素子では、上述した表面弾性波素子に比べても、表面弾性波の伝搬速度を2倍以上大きくすることができ、かつ電気機械結合係数を大きく保持できるところに特徴を有する。

【0054】また、本発明においては、このような表面弾性波素子を実現するために、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる層、圧電体層、二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層の各膜厚の有効範囲が明らかに見出されている。

【0055】

【発明の作用効果】以下の実施例に示されるように、本

発明者らは、圧電体層およびくし形電極が、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる層と二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層との間に挟まれたサンドイッチ構造を有する表面弾性波素子において、圧電体層および二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層を適当な厚みに設定することで、二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層を形成しない場合に比べて電気機械結合係数および表面弾性波の伝搬速度、特に電気機械結合係数を大きくできることを見出した。すなわち、本発明に従えば、二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層をまったく有していない従来の表面弾性波素子よりも高い効率で電気機械的変換を行なうことができ、しかも高い中心周波数を有する表面弾性波素子を提供することができる。

【0056】さらに、本発明に従う表面弾性波素子においては、圧電体層およびくし形電極の上方に二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層が形成されている。二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) は電気的に絶縁体であり、また水分や酸にほとんど反応することがない。したがって、二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層は、外部環境から圧電体層およびくし形電極からなる素子中枢部を保護するパッシベーション膜としての役割を果たし、外部環境からの湿気および不純物等の影響を極めて小さくすることができる。

【0057】また、本発明に従う表面弾性波素子において、二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層を構成する材料の温度に対する表面弾性波の伝搬速度の変化係数と、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる層および圧電体層を構成する材料の温度に対する表面弾性波の伝搬速度の変化係数とが異符号となっている。すなわち、温度が上昇するにつれて、二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層では表面弾性波の伝搬速度が増大するのに対し、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる層および圧電体層では表面弾性波の伝搬速度が減少する傾向が見られる。

【0058】本発明に従う表面弾性波素子では、ダイヤモンドおよびダイヤモンド状炭素膜の少なくともいずれかから本質的になる層および圧電体層の上に異符号の変化係数を有する材料からなる二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 層を積層することで相殺効果が生じ、温度変化に対する素子の特性変動、特に表面弾性波の伝搬速度の変動を極めて小さく抑えることができる。

【0059】このように、本発明においては、より高周波領域において高い電気機械変換効率をもって使用することができかつ安定した特性を有する表面弾性波素子が提供される。

【0060】

【実施例】実施例1

10×10×1mmのSi基板を準備し、これをプラズマCVD装置内に設置した。反応室内を排気するとともに、反応室温に $\text{H}_2 : \text{CH}_4 = 200 : 1$ の混合ガスを

導入した。反応室温の圧力が約40 Torr、基板温度が850°C、マイクロ波パワーが400Wの条件下で、プラズマCVDを行ない、Si基板上に厚さ25μmのダイヤモンド薄膜を成長させた。

【0061】次いで、大気中に450°Cで10分間放置してダイヤモンド薄膜の抵抗値を高めた。次に、ダイヤモンド薄膜の表面を研磨した後、厚さ500オングストロームのAl層を抵抗加熱法により蒸着した。次いで、フォトリソグラフィ法を用いて、Al層から電極間隔2μmのくし形電極を形成した。くし形電極の形状は図22(a)に示したものと同様とした。

【0062】次に、スパッタ出力150W、基板温度380°C条件下で、ZnO多結晶体をAr:O<sub>2</sub>=1:1の混合ガスでスパッタするマグネトロンスパッタリングにより、厚み0.93μmのZnO膜を堆積させた。

【0063】次いで、スパッタリング法により、基板温度:150°C、高周波パワー:200W、ガス:Ar:O<sub>2</sub>=1:1の混合ガス、圧力:0.01 Torr、ターゲット:SiO<sub>2</sub>の条件下で非晶質SiO<sub>2</sub>膜を形成した。

【0064】図1は、かかる構成で形成された実施例に基づく表面弾性波素子を示す断面図である。

【0065】図1に示すように、Si基板1上にダイヤモンド薄膜2が形成されている。そのダイヤモンド薄膜2上にはくし形電極3が形成され、さらにその上にZnO薄膜4が形成されている。ZnO薄膜4の上にSiO<sub>2</sub>膜5が形成されている。

【0066】なお、上記の表面弾性波素子と比較するため、図2に示すようなSiO<sub>2</sub>膜の形成されていない表面弾性波素子を作製した。

【0067】図2に示すように、Si基板11の上には、ダイヤモンド薄膜12が形成されている。ダイヤモンド薄膜12の上には、くし形電極13が形成され、さらにその上にZnO薄膜14が形成されている。この比較例の表面弾性波素子は、SiO<sub>2</sub>膜を形成しないこと以外、すべて上記実施例1に基づく表面弾性波素子と同様に作製した。

【0068】このようにして得た実施例1および比較例の表面弾性波素子の表面に5%希塩酸を滴下し、5分後に表面を洗浄した後、フィルタ特性の評価を行なった。その結果、図1に示す実施例1に基づく表面弾性波素子ではフィルタ特性に何ら変化は見られなかった。図2に示す比較例の表面弾性波素子ではZnO薄膜14がエッチングされ、フィルタ特性を示さなくなっていた。このように、ZnO薄膜4上に形成されたSiO<sub>2</sub>膜5は、外部環境から表面弾性波素子を保護することが認められた。

#### 【0069】実施例2

図3に示す構造を有する素子を作製した。図3に示すように、Si基板21上には、ダイヤモンド薄膜22が形

成されている。ダイヤモンド薄膜22上に短絡用電極26aが形成され、さらにその上にZnO薄膜24が形成されている。ZnO薄膜24上にはくし形電極23が形成され、その上にSiO<sub>2</sub>膜25が形成されている。

【0070】図3に示す構造を有する素子の作製にあたり、ダイヤモンド薄膜22は、実施例1の合成条件と同様の条件下でプラズマCVD法により形成された。ダイヤモンド薄膜22の厚みは約25μmとした。また、ZnO薄膜24およびくし形電極23も実施例1と同様の条件下で形成された。一方、短絡用電極26aは、ダイヤモンド薄膜22の研磨された表面上に、厚さ500オングストロームのAl層を抵抗加熱法により蒸着した後、フォトリソグラフィ法を用いて形成した。図3に示す構造を有する素子において、短絡用電極26aは、素子の励起効率を向上させるため、くし形電極23が形成される領域に対応するように形成した。また、SiO<sub>2</sub>膜25は、実施例1の合成条件と同様の条件下で低温CVD法により形成させ、素子の特性を調べるため種々の厚みとした。

【0071】以下、図3に示した表面弾性波素子の構造をA構造とする。また、SiO<sub>2</sub>膜25の厚みを変えた場合の特性変化を後に示す。

#### 【0072】実施例3

図4に示す構造を有する素子を作製した。図4に示すように、Si基板21上には、ダイヤモンド薄膜22が形成され、その上にくし形電極23が形成されている。ダイヤモンド薄膜22およびくし形電極23を覆うようにZnO薄膜24が形成されている。その上に短絡用電極26aが形成され、この短絡用電極26aを覆うようにSiO<sub>2</sub>膜25が形成されている。

【0073】図4に示す構造を有する素子も、実施例1〜2と同様の条件を用いて作製された。

【0074】以下、図4に示した表面弾性波素子の構造をB構造とする。また、SiO<sub>2</sub>膜25の厚みを変えた場合の特性変化を後に示す。

#### 【0075】実施例4

図5に示す構造を有する素子を作製した。図5に示すように、Si基板21上には、ダイヤモンド薄膜22が形成されている。ダイヤモンド薄膜22上に短絡用電極26aが形成され、さらにその上にZnO薄膜24が形成されている。ZnO薄膜24上にはくし形電極23が形成され、その上にSiO<sub>2</sub>膜25が形成されている。SiO<sub>2</sub>膜25上には、くし形電極23の形成される領域を覆うように短絡用電極26bがさらに形成されている。

【0076】図5に示す構造を有する素子も、実施例1〜3と同様の条件を用いて作製された。

【0077】以下、図5に示した表面弾性波素子の構造をC構造とする。また、SiO<sub>2</sub>膜25の厚みを変えた場合の特性変化を後に示す。

## 【0078】実施例5

図6に示す構造を有する素子を作製した。図6に示すように、Si基板21上には、ダイヤモンド薄膜22が形成されている。ダイヤモンド薄膜22上にくし形電極23が形成され、さらにその上にZnO薄膜24が形成されている。ZnO薄膜24上には、くし形電極23の形成される領域を覆うように短絡用電極26aが形成され、その上にSiO<sub>2</sub>膜25が形成されている。SiO<sub>2</sub>膜25上には、短絡用電極26bがさらに形成されている。

【0079】図6に示す構造を有する素子も、実施例1～4と同様の条件を用いて作製された。

【0080】以下、図6に示した表面弾性波素子の構造をD構造とする。また、SiO<sub>2</sub>膜25の厚みを変えた場合の特性変化を後に示す。

【0081】以下にA～D構造を有する表面弾性波素子において、ZnO薄膜24を一定の厚みとし、最上層に設けられるSiO<sub>2</sub>膜25の厚みを変化させたときの電気機械結合係数 $K^2$ を測定し、その変化をグラフとして示した。SiO<sub>2</sub>膜の厚みと電気機械結合係数 $K^2$ を測定し、その変化をグラフとして示した。SiO<sub>2</sub>膜の厚みと電気機械結合係数 $K^2$ との関係を示すにあたり、次のようにパラメータを規定した。

【0082】表面弾性波の波長を $\lambda$ とする。ZnO薄膜の膜厚は、無次元のパラメータとするため、膜厚 $H_z$ を波長 $\lambda$ で割って $2\pi$ を乗じた $(2\pi H_z/\lambda)$ によって表現する。さらに、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚も、無次元のパラメータとするため、膜厚 $H_s$ を波長 $\lambda$ で割って $2\pi$ を乗じた $(2\pi H_s/\lambda)$ によって表現する。なお、ダイヤモンド薄膜の膜厚も、無次元のパラメータとするため、膜厚 $H_d$ を波長 $\lambda$ で割って $2\pi$ を乗じた $(2\pi H_d/\lambda)$ によって表現することとする。

【0083】ここで、 $(2\pi H_z/\lambda)$ および $(2\pi H_s/\lambda)$ を用いたのは、膜厚 $H_z$ 、 $H_s$ の絶対的な値というより波長に対する各膜厚 $H_z$ 、 $H_s$ の比率が表面弾性波の伝搬速度 $v$ 、電気機械結合係数 $K^2$ に影響を及ぼすことが分かっているからである。

【0084】図7は、A構造の素子において、 $2\pi H_z/\lambda=0.7$ のときの $(2\pi H_s/\lambda)$ と電気機械結合係数 $K^2$ との関係を示すグラフである。

【0085】図7に示すように、A構造の素子において、 $2\pi H_z/\lambda=0.7$ 、 $2\pi H_s/\lambda=0.8$ のとき、1次モードの電気機械結合係数 $K^2$ を約4%にまで大きくすることができる。図7の結果より、ZnO薄膜24の上にSiO<sub>2</sub>膜25を形成することで、電気機械結合係数 $K^2$ を増加させることができることが判明した。

【0086】電気機械結合係数 $K^2$ と $(2\pi H_s/\lambda)$ との関係において、 $(2\pi H_z/\lambda)$ が0.65～0.75の範囲にある場合、上述したのと同様の傾向が認め

られた。

【0087】図8は、B構造の素子において、 $2\pi H_z/\lambda=0.7$ のときの $(2\pi H_s/\lambda)$ と電気機械結合係数 $K^2$ との関係を示すグラフである。

【0088】図8に示すように、B構造の素子において、 $2\pi H_z/\lambda=0.7$ 、 $2\pi H_s/\lambda=0.8$ のとき、1次モードの電気機械結合係数 $K^2$ がほぼ6%に達する。このように、SiO<sub>2</sub>膜を形成しない場合 $(2\pi H_s/\lambda=0)$ に比べて電気機械結合係数 $K^2$ を2%も大きくすることができる。

【0089】電気機械結合係数 $K^2$ と $(2\pi H_s/\lambda)$ の関係において、 $(2\pi H_z/\lambda)$ が0.65～0.75の範囲にある場合、上述したのと同様の傾向が認められた。

【0090】図9は、C構造の素子において、 $2\pi H_z/\lambda=0.7$ のときの $(2\pi H_s/\lambda)$ と電気機械結合係数 $K^2$ との関係を示すグラフである。

【0091】図9に示すように、C構造の素子において、 $2\pi H_z/\lambda=0.7$ 、 $2\pi H_s/\lambda=0.8$ のとき、1次モードの電気機械結合係数 $K^2$ が3%になる。このように、SiO<sub>2</sub>膜を形成しない場合 $(2\pi H_s/\lambda=0)$ に比べて電気機械結合係数 $K^2$ をほぼ3%も大きくすることができる。

【0092】電気機械結合係数 $K^2$ と $(2\pi H_s/\lambda)$ の関係において、 $(2\pi H_z/\lambda)$ が0.65～0.75の範囲にある場合、上述したのと同様の傾向が認められた。図10は、D構造の素子において、 $2\pi H_z/\lambda=0.7$ のときの $(2\pi H_s/\lambda)$ と電気機械結合係数 $K^2$ との関係を示すグラフである。

【0093】図10に示すように、D構造の素子においては、 $2\pi H_z/\lambda=0.7$ 、 $2\pi H_s/\lambda=0.8$ のとき、1次モードの電気機械結合係数 $K^2$ がほぼ6%にまで大きくすることができる。このように、SiO<sub>2</sub>膜を形成しない場合 $(2\pi H_s/\lambda=0)$ に比べて電気機械結合係数 $K^2$ を2%も大きくすることができる。

【0094】電気機械結合係数 $K^2$ と $(2\pi H_s/\lambda)$ の関係において、 $(2\pi H_z/\lambda)$ が0.65～0.75の範囲にある場合、上述したのと同様の傾向が認められた。

【0095】なお、以上に示したA構造～D構造を有する素子においては、Si基板上に設けられるダイヤモンド薄膜22の厚みを約25 $\mu\text{m}$ とした。これは、ダイヤモンド薄膜22の膜厚 $H_d$ を増加させるほど表面弾性波の伝搬速度 $v$ が大きくなるが、 $(2\pi H_d/\lambda) \geq 4.0$ となると、表面弾性波の伝搬速度 $v$ はさほど増加しなくなる。したがって、ダイヤモンド薄膜22の膜厚 $H_d$ は、 $2\pi H_d/\lambda \sim 4.0$ となる程度とすることで十分であるからである。

【0096】以上に示した、A構造～D構造を有する素子において、 $2\pi H_d/\lambda=0.7$ の場合の表面弾性波



の伝搬速度と  $(2\pi Hs/\lambda)$  の関係は図 11 に示す通りである。なおグラフの縦軸および横軸は、それぞれ  $2\pi Hz/\lambda$ 、 $2\pi Hs/\lambda$  を示し、グラフ内の数字は  $v$  を示している。

【0097】図 11 に示されるように、1 次モードおよび 2 次モードがともに高い伝搬速度を有していることが分かる。1 次モードにおいては、 $SiO_2$  膜 25 の厚みが増すにつれて伝搬速度が若干減少していく傾向が認められるが、 $2\pi Hs/\lambda = 0.8$  において約  $8000\text{ m/s}$  と十分な伝搬速度が得られていることが分かる。

【0098】また、図 7～10 に示す通り、前述の A、B、C および D 構造を有するいずれの素子においても、 $(2\pi Hs/\lambda)$  が大きくなるにつれて、0 次モードの電気機械結合係数  $K^2$  がより小さく抑えられている。したがって、このような素子では不要波の励振が抑えられ、優れたスプリアス特性が得られる。

【0099】以上の実施例 1～4 において示した表面弾性波素子では、 $SiO_2$  膜 25 の膜厚を  $(2\pi Hs/\lambda)$  が  $0.2 \sim 0.8$  の範囲となるように設定することで、1 次モードの励起構造を有する素子として適用することができ

【0100】これらの実施例によれば、従来の表面弾性波素子よりも高い効率で電気機械変換を行うことができ、しかも極高周波域において使用することができる表面弾性波素子を提供することができる。

【0101】これらの実施例に基づく表面弾性波素子は、特に、自動車電話および携帯電話の通信機器に用いられる高周波フィルタとして使用することができる。

【0102】これらの実施例に基づく表面弾性波素子においては、図 22 (a) に示すような標準的なくし形電極を用いたが、これは図 22 (b) をはじめとする他の形状のくし形電極を用いても同様の結果を得ることができる。

#### 【0103】実施例 6

図 1 に示した表面弾性波素子と同一の構造であって、 $ZnO$  薄膜および  $SiO_2$  薄膜の厚みのみを相違させた表面弾性波素子を作製した。くし形電極の構造は図 22

(b) のタイプとし、この電極幅、電極間隔  $d$  はともに  $2\mu\text{m}$  とした。ダイヤモンド層の  $2\pi Hd/\lambda = 4$  とし、この素子も、実施例 1～5 と同様の条件を用いて作製された。このようにして作製された表面弾性波素子の特性の評価結果を図 12 に示す。これは、 $2\pi Hz/\lambda$  および  $2\pi Hs/\lambda$  と 1 次モードの電気機械結合係数  $K^2$  との関係を示すグラフである。なお、グラフの縦軸および横軸は、それぞれ  $2\pi Hz/\lambda$ 、 $2\pi Hs/\lambda$  を示し、グラフ内の数字は  $K^2$  を示している。

【0104】同図に示すように、この構造の表面弾性波素子において、 $SiO_2$  膜の厚み  $(2\pi Hs/\lambda)$  に関わらず、 $ZnO$  薄膜の厚み  $(2\pi Hz/\lambda)$  が増加するに伴って電気機械結合係数  $K^2$  の値は増加する。特に、

$2\pi Hs/\lambda$  が  $\sim 0.8$  であって  $2\pi Hz/\lambda$  が  $1.4 \sim$  の場合の表面弾性波素子においては、 $K^2 = 3.5\%$  が得られる。

【0105】また、かかる表面弾性波素子の伝搬速度と温度に対する安定性を考慮した場合は、同図中の 4 点の丸印で囲まれた領域に対応した  $ZnO$  薄膜および  $SiO_2$  膜の厚みを有する表面弾性波素子が実用上望ましく、この表面弾性波素子の伝搬速度は、約  $8000 \sim 10000\text{ m/s}$ 、温度係数は  $0 \pm 10\text{ ppm/}^\circ\text{C}$  を有している。このように、 $SiO_2$  膜を備えた実施例 6 の表面弾性波素子は、実際上好ましい特性を有する  $ZnO$  薄膜または  $SiO_2$  膜の厚さを選択することが可能である。

#### 【0106】実施例 7

図 3 に示した表面弾性波素子と同一の構造であって、 $ZnO$  薄膜および  $SiO_2$  薄膜の厚みのみを相違させた表面弾性波素子を作製した。くし形電極の構造は図 22

(b) のタイプとし、この電極幅、電極間隔  $d$  はともに  $2\mu\text{m}$  とした。ダイヤモンド層の  $2\pi Hd/\lambda = 4$  とし、この素子も、実施例 1～6 と同様の条件を用いて作製された。この表面弾性波素子の特性の評価結果を図 13 に示す。これは、 $2\pi Hz/\lambda$  および  $2\pi Hs/\lambda$  と 1 次モードの電気機械結合係数  $K^2$  との関係を示すグラフである。なお、グラフの縦軸および横軸は、それぞれ  $2\pi Hz/\lambda$ 、 $2\pi Hs/\lambda$  を示し、グラフ内の数字は  $K^2$  を示している。

【0107】同図に示すように、この構造の表面弾性波素子において、 $SiO_2$  膜の厚み  $(2\pi Hs/\lambda)$  に関わらず、 $ZnO$  薄膜の厚み  $(2\pi Hz/\lambda)$  が増加するに伴って電気機械結合係数  $K^2$  の値は増加する。特に、 $2\pi Hs/\lambda$  が  $0.7 \sim 0.8$  であって  $2\pi Hz/\lambda$  が  $0.7 \sim 0.8$  の場合の表面弾性波素子においては、 $K^2 \sim 4\%$  が得られる。

【0108】また、かかる表面弾性波素子の伝搬速度と温度に対する安定性を考慮した場合は、同図中の 4 点の丸印で囲まれた領域に対応した  $ZnO$  薄膜および  $SiO_2$  薄膜の厚みを有する表面弾性波素子が実用上望ましく、これらの表面弾性波素子の伝搬速度は、約  $8000 \sim 10000\text{ m/s}$ 、温度係数は  $0 \pm 10\text{ ppm/}^\circ\text{C}$  を有している。このように、 $SiO_2$  膜を備えた実施例 7 の表面弾性波素子は、実際上好ましい特性を有する  $ZnO$  薄膜または  $SiO_2$  膜の厚さを選択することが可能である。

#### 【0109】実施例 8

図 4 に示した表面弾性波素子と同一の構造であって、 $ZnO$  薄膜および  $SiO_2$  薄膜の厚みのみを相違させた表面弾性波素子を作製した。くし形電極の構造は図 22

(b) のタイプとし、この電極幅、電極間隔  $d$  はともに  $2\mu\text{m}$  とした。ダイヤモンド層の  $2\pi Hd/\lambda = 4$  とし、この素子も、実施例 1～7 と同様の条件を用いて作

製された。この表面弾性波素子の特性の評価結果を図14に示す。これは、 $2\pi Hz/\lambda$ および $2\pi Hs/\lambda$ と1次モードの電気機械結合係数 $K^2$ との関係を示すグラフである。なお、グラフの縦軸および横軸は、それぞれ $2\pi Hz/\lambda$ 、 $2\pi Hs/\lambda$ を示し、グラフ内の数字は $K^2$ を示している。

【0110】同図に示すように、この構造の表面弾性波素子において、 $SiO_2$ 膜の厚み( $2\pi Hs/\lambda$ )に関わらず、 $ZnO$ 薄膜の厚み( $2\pi Hz/\lambda$ )が増加するに伴って電気機械結合係数 $K^2$ の値は増加する。特に、 $2\pi Hs/\lambda$ が0.4〜であって $2\pi Hz/\lambda$ が0.65〜の場合の表面弾性波素子においては、 $K^2$ は少なくとも約5%に到達し、 $2\pi Hz/\lambda$ が1.2〜の場合、 $K^2$ は約6%以上に達している。また、 $2\pi Hs/\lambda=0.8$ 、 $2\pi Hz/\lambda=0.8$ の表面弾性波素子は、伝搬速度 $v$ は6700(m/s)、温度係数は5ppm/°Cとする実用上有効な特性を保持しつつ電気機械結合係数 $K^2$ は6%と非常に大きな値を有している。

【0111】また、かかる表面弾性波素子の伝搬速度と温度に対する安定性を考慮した場合は、同図中の4点の丸印で囲まれた領域に対応した $ZnO$ 薄膜および $SiO_2$ 膜の厚みを有する表面弾性波素子が実用上望ましく、これらの表面弾性波素子の伝搬速度は、約8000〜10000m/s、温度係数は $0\pm 10$ ppm/°Cを有している。このように、 $SiO_2$ 膜を備えた実施例8の表面弾性波素子は、実際上好ましい特性を有する $ZnO$ 薄膜または $SiO_2$ 膜の厚さを選択することが可能である。

#### 【0112】実施例9

図5に示した表面弾性波素子と同一の構造であって、 $ZnO$ 薄膜および $SiO_2$ 薄膜の厚みのみを相違させた表面弾性波素子を作製した。くし形電極の構造は図22

(b)のタイプとし、これの電極幅、電極間隔 $d$ はともに $2\mu m$ とした。この素子も実施例1〜8と同様の条件を用いて作製された。この表面弾性波素子の特性の評価結果を図15に示す。これは、 $2\pi Hz/\lambda$ および $2\pi Hs/\lambda$ と1次モードの電気機械結合係数 $K^2$ との関係を示すグラフである。なお、グラフの縦軸および横軸は、それぞれ $2\pi Hz/\lambda$ 、 $2\pi Hs/\lambda$ を示し、グラフ内の数字は $K^2$ を示している。

【0113】同図に示すように、この構造の表面弾性波素子において、 $ZnO$ 薄膜の厚み( $2\pi Hz/\lambda$ )に関わらず、 $SiO_2$ 膜の厚み( $2\pi Hs/\lambda$ )が増加するに伴って電気機械結合係数 $K^2$ の値は増加する。特に、 $2\pi Hs/\lambda$ が0.7〜であって $2\pi Hz/\lambda$ が0.65〜0.75の場合の表面弾性波素子においては、 $K^2$ は約3%に到達している。

【0114】また、かかる表面弾性波素子の伝搬速度と温度に対する安定性を考慮した場合は、同図中の4点の丸印で囲まれた領域に対応した $ZnO$ 薄膜および $Si$

$O_2$ 膜の厚みを有する表面弾性波素子が実用上望ましく、これらの表面弾性波素子の伝搬速度は、約8000〜10000m/s、温度係数は $0\pm 10$ ppm/°Cを有している。このように、 $SiO_2$ 膜を備えた実施例9の表面弾性波素子は、実際上好ましい特性を有する $ZnO$ 薄膜または $SiO_2$ 膜の厚さを選択することが可能である。

#### 【0115】実施例10

図16に示す構造を有する素子を作製した。図16に示すように、 $Si$ 基板21上には、ダイヤモンド薄膜22が形成されている。ダイヤモンド薄膜22上くし形電極23が形成され、さらにその上に $ZnO$ 薄膜24が形成されている。 $ZnO$ 薄膜24上には $SiO_2$ 膜25が形成されている。 $SiO_2$ 膜25上には、くし形電極23の形成される領域を覆うように短絡用電極26bが形成されている。くし形電極23の構造は図22(b)のタイプとし、これの電極幅、電極間隔 $d$ はともに $2\mu m$ とした。ダイヤモンド層の $2\pi Hd/\lambda=4$ であり、図16に示す構造を有する素子も、実施例1〜9と同様の条件を用いて作製された。

【0116】この素子の特性の評価結果を図17に示す。これは、このような構造であって、 $ZnO$ 薄膜および $SiO_2$ 膜の厚みのみが同図に示す値を有する表面弾性波素子の $2\pi Hz/\lambda$ および $2\pi Hs/\lambda$ と1次モードの電気機械結合係数 $K^2$ との関係を示すグラフである。なおグラフの縦軸および横軸は、それぞれ $2\pi Hz/\lambda$ 、 $2\pi Hs/\lambda$ を示し、グラフ内の数字は $K^2$ を示している。

【0117】同図に示すように、この構造の表面弾性波素子において、 $SiO_2$ 膜の厚み( $2\pi Hs/\lambda$ )に関わらず、 $ZnO$ 薄膜の厚み( $2\pi Hz/\lambda$ )が増加するに伴って電気機械結合係数 $K^2$ の値は増加する。

【0118】また、かかる表面弾性波素子の伝搬速度と温度に対する安定性を考慮した場合は、同図中の4点の丸印で囲まれた領域に対応した $ZnO$ 薄膜および $SiO_2$ 膜の厚みを有する表面弾性波素子が実用上望ましく、これらの表面弾性波素子の伝搬速度は、約8000〜10000m/s、温度係数は $0\pm 10$ ppm/°Cを有している。このように、 $SiO_2$ 膜を備えた実施例10の表面弾性波素子は、実際上好ましい特性を有する $ZnO$ 薄膜または $SiO_2$ 膜の厚さを選択することが可能である。

【0119】このように、実施例6〜10の表面弾性波素子は、 $2\pi Hz/\lambda=0.3\sim 1.0$ において $SiO_2$ 膜を付加したので、ほぼ7000m/s以上の伝搬速度を保持しつつ、高い電気機械結合係数 $K^2$ および高い温度安定性を有している。

【0120】なお、以上の実施例6〜10の表面弾性波素子においては、 $Si$ 基板上に設けられるダイヤモンド薄膜22の厚みを約 $25\mu m$ とした。これは、ダイヤモ

ンド薄膜22の膜厚 $Hd$ を増加させるほど表面弾性波の伝搬速度 $v$ が大きくなるが、 $(2\pi Hd/\lambda) \geq 4.0$ となるとき、表面弾性波の伝搬速度 $v$ はさほど増加しなくなる。したがって、ダイヤモンド薄膜22の膜厚 $Hd$ は、 $2\pi Hd/\lambda \sim 4.0$ となる程度とすることで十分であるからである。

【0121】以上、上記に示した実施例6～10の表面弾性波素子において、 $2\pi Hd/\lambda = 0.7$ の場合の1次モードの表面弾性波の伝搬速度 $v$  (m/s) と  $(2\pi Hs/\lambda)$  および  $2\pi Hz/\lambda$  の関係は図18に示す通りである。なおグラフの縦軸および横軸は、それぞれ  $2\pi Hz/\lambda$ 、 $2\pi Hs/\lambda$  を示し、グラフ内の数字は $v$ を示している。

【0122】同図から明らかなように、 $2\pi Hs/\lambda$  または  $2\pi Hz/\lambda$  の増加に伴って伝搬速度 $v$ は減少するが、 $2\pi Hs/\lambda$  が0.8であっても  $2\pi Hz/\lambda$  を  $\sim 0.4$  に設定すれば、伝搬速度 $v = 8000$  (m/s) 以上が得られる。

【0123】また、上記実施例6～10の表面弾性波素子において、ZnO薄膜およびSiO<sub>2</sub>薄膜の厚みを変化させた場合の、 $2\pi Hz/\lambda$  および  $2\pi Hs/\lambda$  と1次モードの温度係数 $\sigma$  (ppm/°C) との関係調べた。この結果を図19に示す。

【0124】なおグラフの縦軸および横軸は、それぞれ  $2\pi Hz/\lambda$ 、 $2\pi Hs/\lambda$  を示し、グラフ内の数字は $\sigma$ を示している。同図から明らかなように、 $2\pi Hz/\lambda$  の値に関わらず  $2\pi Hs/\lambda$  の増加に伴って温度係数 $\sigma$ は増加し、 $2\pi Hs/\lambda$  が0.5～0.8である場合には、 $2\pi Hz/\lambda$  の値を0.6以下の適当な値に設定することによって $\sigma = 0$ とすることができる。以上の結果から電気機械結合係数 $K^2$ 、伝搬速度 $v$ および温度係数 $\sigma$ を考慮した場合に実際上有効な  $2\pi Hs/\lambda$  および  $2\pi Hz/\lambda$  の範囲は、 $2\pi Hs/\lambda$  が0.4～0.8であって  $2\pi Hz/\lambda$  が0.2～0.6であることが判る。

【0125】以上の実施例6～10において示した表面弾性波素子では、SiO<sub>2</sub>膜25の膜厚を  $2\pi Hs/\lambda$  が0.2～0.8の範囲となるように設定することで、1次モードの励起構造を有する素子として適用することができる。

【0126】これらの実施例によれば、従来の表面弾性波素子よりも高い効率で電気機械変換を行うことができ、しかも極高周波域において使用することができる表面弾性波素子を提供することができる。しかも、これらの実施例に係る表面弾性素子は、SiO<sub>2</sub>膜とZnO薄膜の膜厚を適当に設定することにより、外部の温度変化に対しても安定であるので、特に、環境変化の激しい自動車電話および携帯電話の通信機器に用いられる高周波フィルタとして使用することができる。

【0127】なお、第6～10実施例に基づく表面弾性

波素子においては、図22(b)に示すような標準的なくし形電極を用いたが、これは図22(a)をはじめとする他の形状のくし形電極を用いても同様の結果を得ることができる。

【0128】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に従う表面弾性波素子の構造を示す断面図である。

【図2】比較例として作製された従来の表面弾性波素子の構造を示す断面図である。

【図3】本発明の第2の実施例に従う表面弾性波素子の構造を示す断面図である。

【図4】本発明の第3の実施例に従う表面弾性波素子の構造を示す断面図である。

【図5】本発明の第4の実施例に従う表面弾性波素子の構造を示す断面図である。

【図6】本発明の第5の実施例に従う表面弾性波素子の構造を示す断面図である。

【図7】第2の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図8】第3の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図9】第4の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図10】第5の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図11】第2、第3、第4および第5の実施例に従う表面弾性素子において、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚と表面弾性波の伝搬速度との関係を示す図である。

【図12】第6の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜およびZnO薄膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図13】第7の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜およびZnO薄膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図14】第8の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜およびZnO薄膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図15】第9の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜およびZnO薄膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図16】本発明の第10の実施例に従う表面弾性波素子の構造を示す断面図である。

【図17】第10の実施例に従う表面弾性波素子において、SiO<sub>2</sub>膜およびZnO薄膜の膜厚と電気機械結合係数との関係を示す図である。

【図18】第6～10の実施例に従う表面弾性素子において、 $\text{SiO}_2$ 膜および $\text{ZnO}$ 薄膜の膜厚と表面弾性波の伝搬速度との関係を示す図である。

【図19】第6～10の実施例に従う表面弾性素子において、 $\text{SiO}_2$ 膜および $\text{ZnO}$ 薄膜の膜厚と温度係数との関係を示す図である。

【図20】表面弾性波素子の基本的な構造を模式的に示す斜視図である。

【図21】従来の表面弾性波素子の構造を示す断面図で

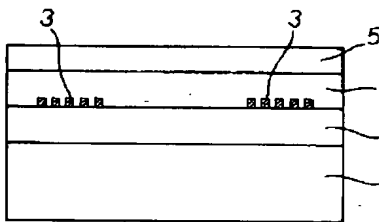
ある。

【図22】くし形電極の形状を示す平面図である。

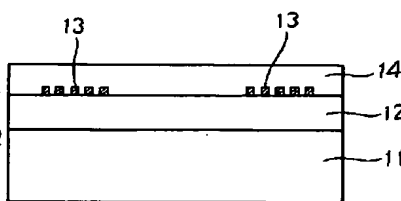
【符号の説明】

1, 11, 21… $\text{Si}$ 基板、2, 12, 22…ダイヤモンド薄膜、3, 13, 23…くし形電極、4, 14, 24… $\text{ZnO}$ 薄膜、5, 25, … $\text{SiO}_2$ 膜、26a, 26b…短絡用電極。なお、各図中、同一符号は同一または相当部分を示す。

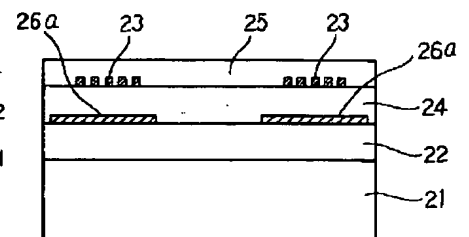
【図1】



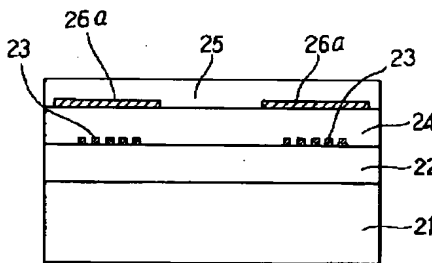
【図2】



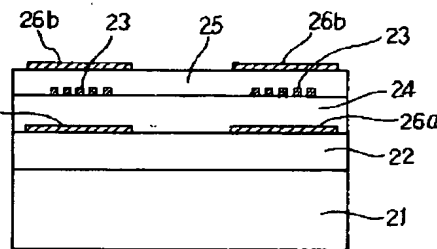
【図3】



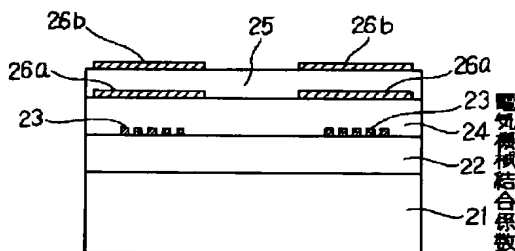
【図4】



【図5】

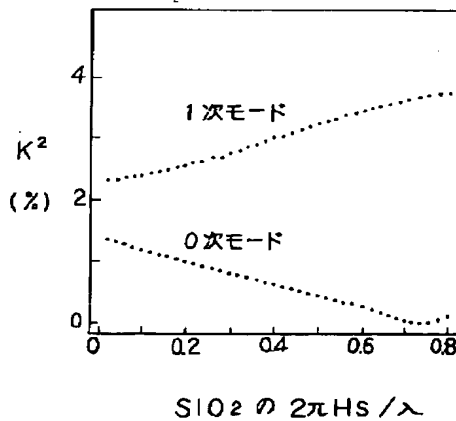


【図6】

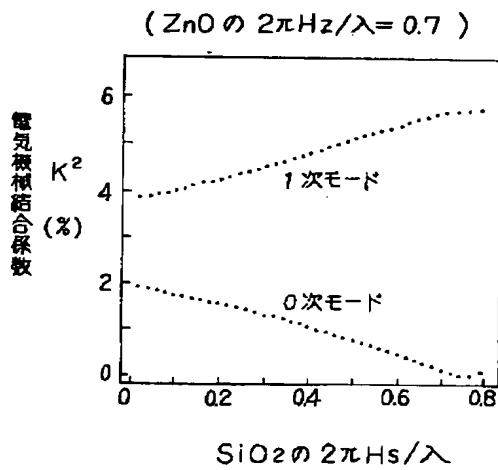


【図7】

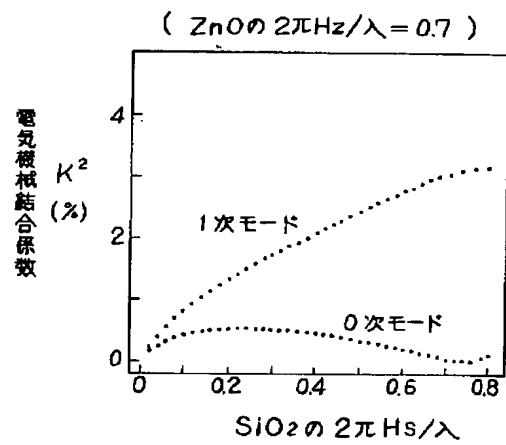
( $\text{ZnO}$ の $2\pi\text{Hz}/\lambda = 0.7$ )



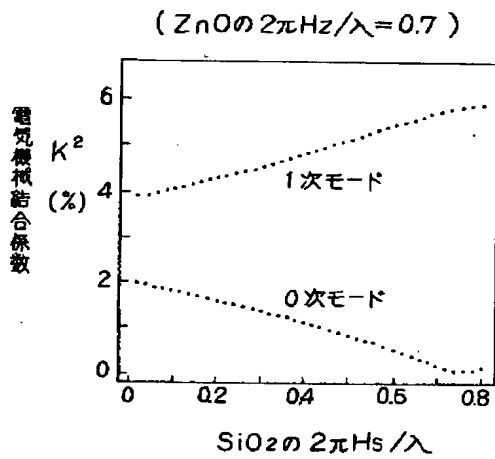
【図8】



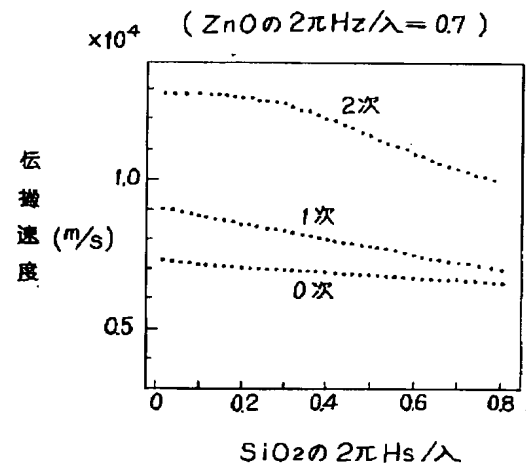
【図9】



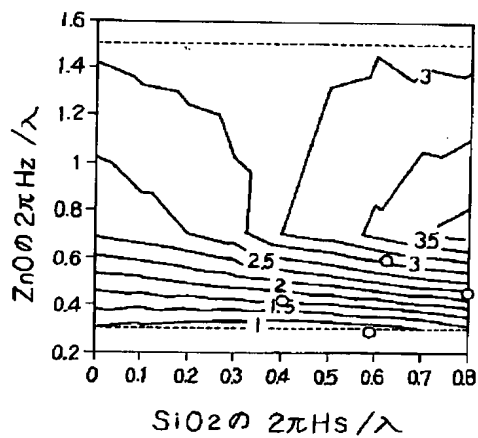
【図10】



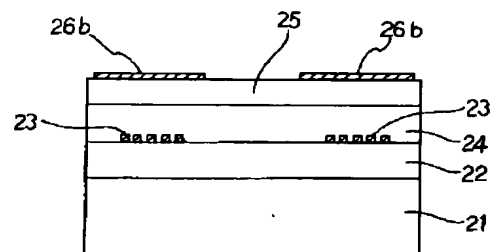
【図11】



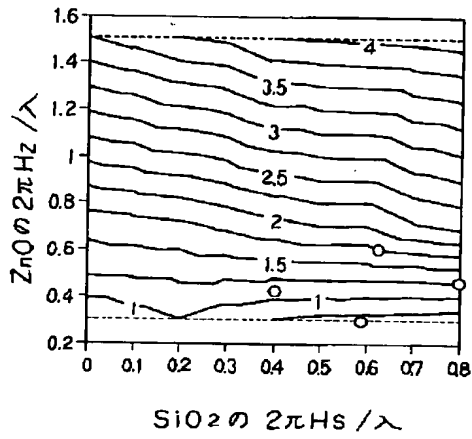
【図13】



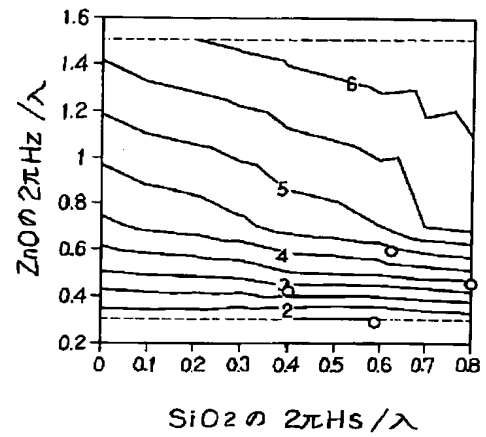
【図16】



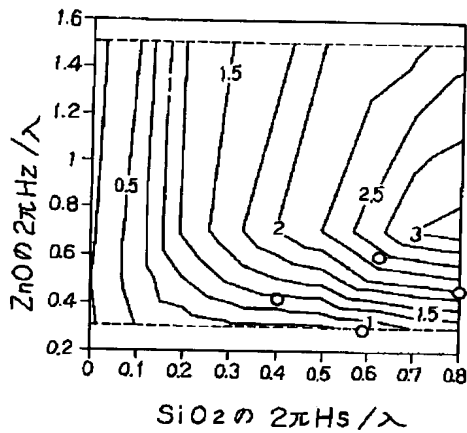
【図12】



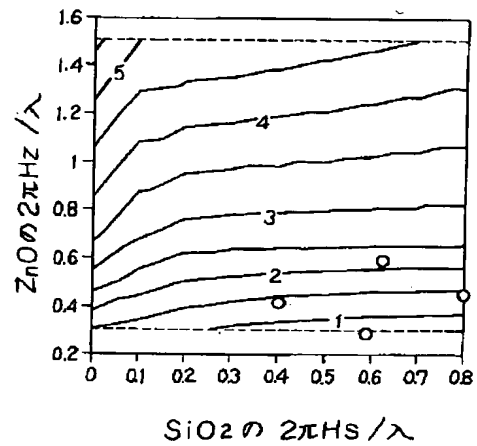
【図14】



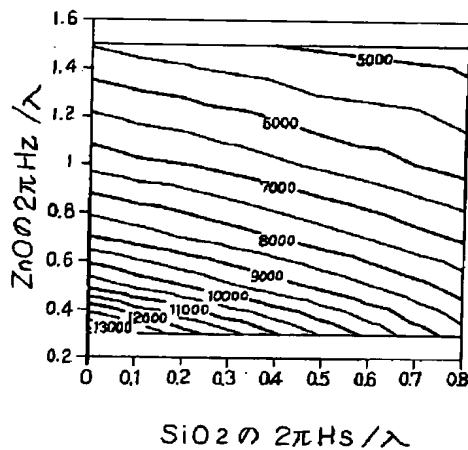
【図15】



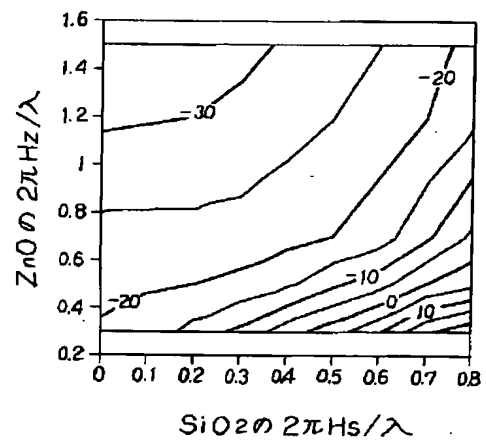
【図17】



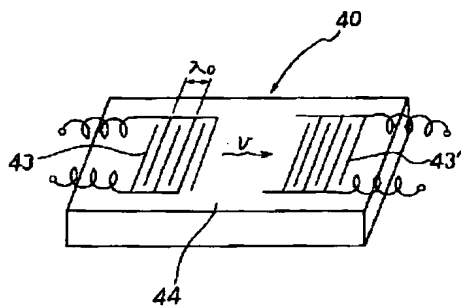
【図18】



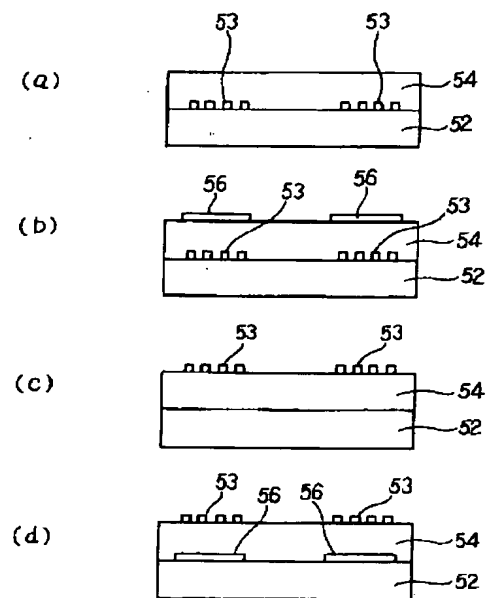
【図19】



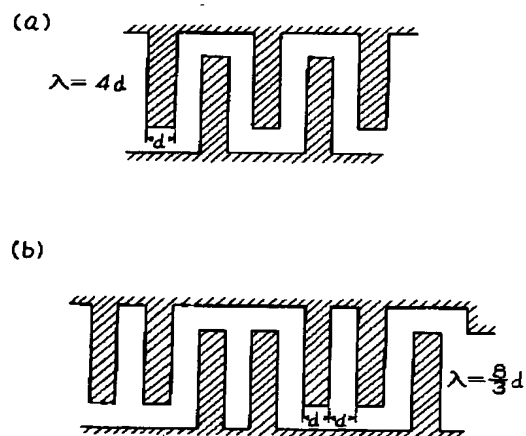
【図20】



【図21】



【図22】



フロントページの続き

(72) 発明者 鹿田 真一  
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内